

BIOAKUMULACIJA I TRANSLOKACIJA METALA U VRSTI *ALYSSUM MARKGRAFII* O. E. SCHULZ

*Snežana Branković¹, Gorica Đelić¹, Zoran Simić¹, Radmila Glišić¹, Vera Đekić²,
Marina Topuzović¹, Filip Grbović¹, Milica Novaković¹*

Izvod: Cilj ovog rada bio je da se odrede koncentracije nekih metala (Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Ni, Cr) u zemljištu i vrsti *Alyssum markgrafii* O. E. Schulz na lokalitetu u podnožju planine Goč. Koncentracije Ni i Cr u istraživanom zemljištu prelazile su propisane maksimalno dozvoljene koncentracije, granične vrednosti, kao i remedijacione vrednosti ovih metala u zemljištu, saglasno uredbi i pravilniku Republike Srbije. Listovi vrste *A. markgrafii* akumulirali su najviše Mg, Mn, Fe, Ni i Cr. Stablo ove vrste je sadržalo najviše Zn, a cvast najviše Ca. Utvrđeni su veliki sadržaji Ni, Cr i Fe u biljnim tkivima vrste *A. markgrafii*. Pokazana je i dobra translokacija Ca i Zn od podzemnih ka nadzemnim organima vrste *A. markgrafii*, kao i da se ona može smatrati pogodnom za fitoekstrakciju ispitivanih metala.

Ključne reči: metali, zemljište, bioakumulacija, translokacija.

Uvod

Zagađenje životne sredine (zemljište, voda, vazduh) predstavlja globalni problem. Poslednjih decenija smo svedoci sve prisutnijeg zagađenja zemljišta različitim polutantima, posebno teškim metalima. Poreklo teških metala u zemljištu može biti geohemijsko i antropogeno. U toku procesa pedogeneze dolazi do raspadanja stena, tako da se mineralni sastav zemljišta neposredno nasleđuje iz materinske stene ili se formira transformacijom minerala u njemu. Hemijski sastav zemljišta odgovara geološkoj podlozi od koje zemljište nastaje. Različiti elementi se iz matičnog supstrata oslobađaju najčešće putem hidratacije, hidrolize, rastvaranja, oksidacije, redukcije, a zatim se koncentrišu u površinskim ili dubljim slojevima zemljišta, što zavisi od njihove sposobnosti da se vežu za glinu, hidratizane okside ili organsku materiju.

Biljke su na specifična svojstva zemljišta prilagođene svojim morfo-anatomskim, biohemijsko-fiziološkim osobinama, kao i svojim opštim habitusom. Sposobnost biljka da akumuliraju polutante, teške metale, i da ih skladište u svojim organima se može koristiti za monitoring zagađenja zemljišta i utvrđivanje njihovog sadržaja. Biljne vrste koje imaju veliku sposobnost akumulacije i translokacije metala od korena do nadzemnih organa biljke mogu biti korisne u uklanjanju metala iz zemljišta i primenjene u fitoremedijaciji kontaminiranih zemljišta

Cilj ovog rada bio je da se odredi sadržaj 7 metala u zemljištu i vrsti *Alyssum markgrafii* O. E. Schulz., kao i da se pokaže sposobnost bioakumulacije i translokacije ispitivanih metala ove vrste i ukaže na mogućnost njene primene u fitoremedijaciji.

¹Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet Kragujevac, Radoja Domanovića 12, Kragujevac, Srbija (pavsnez@kg.ac.rs);

²Centar za strna žita, Save Kovačevića 31, Kragujevac, Srbija.

Materijal i metode rada

Biljni materijal je prikupljan po povoljnim vremenskim uslovima, a uzorkovani su koren, stablo, list i cela biljaka *Alyssum markgrafii* O. E. Schulz na lokalitetu selo Kamenica u podnožju planine Goč. Identifikacija biljnog materijala je rađena pomoću odgovarajućeg pribora u laboratoriji Instituta za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Kragujevcu, uz pomoć standardnih ključeva za determinaciju biljaka: Jávorka and Csapody (Javorka and Csapody, 1979.), Flora Republike Srbije (Josifović, 1991.) i Flora Evrope (Tutin, 1964.).

Uzorci zemljišta od 2 kg, sa dubine do 10 cm, su prvo sušeni na vazduhu do vazdušno-suvog stanja, pri čemu su iz zemljišta odstranjeni delovi stena i krupne frakcije. Srednja proba zemljišta je zatim prosejavana na sitima promera 2 mm, a manji uzorci težine 10 g su ponovo prosejavani. Posle sušenja biljnih uzoraka i uzoraka zemljišta (u sušnici Binder/Ed15053, 24h na temperaturi od 105°C), određena masa pripremljenog materijala (3 g zemljišta i 2 g biljnog materijala) je merena na analitičkoj vagi, nakon čega je sprovedena standardna procedura za pripremanje uzoraka za hemijsku analizu (Wei et al., 2005.).

U zemljištu i biljnim uzorcima (koren, stablo, list, cela biljka), određivane su koncentracije Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Ni i Cr, a njihovo očitavanje rađeno je u Institutu za hemiju na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kragujevcu, korišćenjem atomskog apsorpcionog spektrofotometra (Perkin Elmer 3300). Svaki uzorak je očitao u pet ponavljanja. Određivane su srednja vrednost, standardna devijacija, bioakumulacioni faktor (BF), translokacioni faktor (TF) kao i faktor obogaćivanja (EF, *engl.* enrichment factor). Bioakumulacioni faktor je indeks sposobnosti biljke da akumulira određeni metal u odnosu na njegovu koncentraciju u supstratu (Ghosh and Singh, 2005), i računa se kao odnos koncentracije metala u korenu i njegove koncentracije u zemljištu. Translokacioni factor (odnos mobilizacije) se koristi za procenu relative translokacije metala od podzemnih organa (krenova) ka nadzemnim organima i izračunava se kao odnos koncentracije metala u nadzemnom organu i njegove koncentracije u korenu (Gupta et al., 2008). Faktor obogaćivanja se računa kao odnos koncentracije metala u nadzemnim organima biljke i njegove koncentracije u zemljištu (Branquinho et al, 2007). Takođe, određivan je i biološki apsorpcioni koeficijent (AK) kao odnos sadržaja metala u celoj biljci i njegovog sadržaja u zemljištu (Kabata-Pendias, 2011.). Koncentracije metala u biljnom materijalu i zemljištu izražene su u mg kg⁻¹ suve materije.

Rezultati istraživanja i diskusija

Srednje vrednosti koncentracija ispitivanih elemenata u zemljištu gradirane su u sledećem poretku: Mg>Fe>Ca>Ni>Cr>Mn>Zn i kretale su se u rasponu od 23,12 mg Zn kg⁻¹ do 59603,59 mg Mg kg⁻¹ (Tabela 1). Dobijeni rezultati pokazuju da su koncentracije Ni i Cr u istraživanom zemljištu prelazile propisane maksimalno dozvoljene koncentracije, granične i remedijacione vrednosti ovih metala u zemljištu saglasno uredbi i pravilniku Republike Srbije (Službeni glasnik RS, br. 18/97; Službeni glasnik RS, br. 88/2010, prilog 3). Takođe, koncentracija Ni je bila iznad granične vrednosti za dati metal u zemljištu prema Direktivi Evropske unije (Directive 86/278/EEC).

Tabela 1. Sadržaj ispitivanih metala [mg kg^{-1}] u zemljištu
 Table 1. The content of investigated metals [mg kg^{-1}] in the soil

Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Ni	Cr
1109,08 $\pm 6,1$	59603,59 $\pm 312,0$	288,86 $\pm 6,4$	35709,91 $\pm 320,9$	23,12 $\pm 0,2$	931,49 $\pm 23,7$	485,24 $\pm 10,7$

¹srednja vrednost (n=5) \pm standardna devijacija [mg kg^{-1}]

Sadržaj ispitivanih metala u proučavanoj vrsti *A. markgrafii* bio je različit i zavisio je od biljnog organa i vrste metala (Tabela 2). Generalni poredak srednjih vrednosti koncentracija ispitivanih metala u proučavanoj biljci je: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Mn} > \text{Zn}$. Dobijeni rezultati pokazuju da je list vrste *A. markgrafii* akumulirao najviše Mg, Mn, Fe, Ni i Cr. Stablo ove vrste je sadržalo najviše Zn, dok je cvast sadržala najviše Ca.

Tabela 2. Sadržaj ispitivanih metala [mg kg^{-1}] u vrsti *A. markgrafii*
 Table 2. The content of investigated metals [mg kg^{-1}] in species *A. markgrafii*

	koren root	stablo stem	list leaf	cvast inflorescence	cela biljka whole plant
Ca	4925,00 \pm 26,44	10630,50 \pm 453,67	15726,67 \pm 393,56	22030\pm543,08	10427,39 \pm 455,1
Mg	2633,50 \pm 30,99	2876,50 \pm 83,83	18335,33\pm499,60	14359,67 \pm 278,77	7948,44 \pm 756,3
Mn	48,50 \pm 0,63	21,18 \pm 0,65	146,13\pm1,10	85,27 \pm 0,64	71,94 \pm 55,20
Fe	481,33 \pm 9,56	173,00 \pm 4,94	6827,50\pm41,13	2277,00 \pm 25,63	3092,50 \pm 285,8
Zn	27,55 \pm 0,40	33,05\pm0,40	26,25 \pm 0,85	9,33 \pm 0,37	28,95 \pm 0,3
Ni	92,67 \pm 0,75	121,33 \pm 1,22	355,70\pm1,54	285,28 \pm 1,15	189,90 \pm 12,1
Cr	55,40 \pm 0,63	27,97 \pm 0,48	171,53\pm0,87	68,72 \pm 0,88	84,97 \pm 6,4

¹srednja vrednost (n=5) \pm standardna devijacija [mg kg^{-1}]

Prema nekim izvorima sadržaj Ca kod biljaka ne prelazi 0,8%, dok se sadržaj Mg kreće 2,67-8,14%, što je u saglasnosti sa rezultatima ove studije. Za potpunu metaboličku funkciju biljaka Mn je potreban u koncentracijama do 20 mg kg^{-1} , a kod većine biljaka utvrđen je normalni sadržaj Mn u granicama $20\text{-}300 \text{ mg kg}^{-1}$ (Kastori, 1993). Takođe, literaturni podaci navode različite toksične vrednosti koncentracija Fe za biljke ($40\text{-}500 \text{ mg kg}^{-1}$, $5\text{-}200 \text{ mg kg}^{-1}$) (Markert, 1992). Prema Hooda-u (2011), koncentracije Fe u biljnim tkivima se kreću do 50 mg kg^{-1} , dok su suficitarne vrednosti u opsegu $50\text{-}500 \text{ mg kg}^{-1}$. Rezultati ove studije ukazuju na povećan sadržaj Fe u proučavanim organima biljke. Prema Brunetti-u (2009) normalan sadržaj Zn u biljkama je $15\text{-}150 \text{ mg kg}^{-1}$, dok je maksimalna vrednost Zn u biljnim tkivima $150\text{-}200 \text{ mg kg}^{-1}$. Dobijeni rezultati ukazuju da su sadržaji Mn i Zn u svim proučavanim organima vrste *A. markgrafii* bili u nivou normalnih vrednosti prema navedenim literaturnim izvorima. Prosečan sadržaj Ni u biljkama u Srbiji iznosi od $0,1\text{-}5,0 \text{ mg kg}^{-1}$, dok je toksična vrednost Ni procenjena na $10\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$ suve materije (Kastori, 1993.). Svi proučavani organi vrste *A. markgrafii* (osim korena) pokazali su veći sadržaj Ni u svojim tkivima od toksične vrednosti prema gore navedenoj literaturi. Takođe, prema nekim navodima normalne koncentracije Cr u biljnim tkivima su $0,2\text{-}1 \text{ mg kg}^{-1}$ (Nagajyot, 2010), dok je prag toksičnosti Cr $5\text{-}30 \text{ mg kg}^{-1}$ (Alloway, 1990). Dobijeni rezultati ukazuju da je sadržaj Cr u svim organima vrste *A. markgrafii* bio veći od njegovog prosečnog sadržaja u

biljkama, kao i da je njegov sadržaj u korenu, listovima i cvastima ove vrste prevazilazio prag toksičnosti. Visoki sadržaji Ni, Cr i Fe u biljnim tkivima vrste *A. markgrafii* je u vezi sa njihovim povećanim sadržajem u serpentinitskoj geološkoj podlozi i zemljištu nastalom na ovakom tipu geološke podloge.

Dobijeni rezultati ukazuju da su svi proučavani organi vrste *A. markgrafii* imali veći sadržaj Ca u odnosu na ispitivano zemljište, kao i da su korenovi, stabla i listovi ove vrste imali veći sadržaj Zn u odnosu na zemljište (Tabela 3).

Tabela 3. Bioakumulacioni faktor (BF) i faktori obogaćivanja (EF)
Table 3. Bioaccumulation factor (BF) and enrichment factor (EF)

<i>A. markgrafii</i>				
	<i>BF</i>	<i>EFstablo</i> <i>EFstem</i>	<i>EFlist</i> <i>EFleaf</i>	<i>EFcvast</i> <i>EFinflorescence</i>
Ca	4,44	9,58	14,18	19,86
Mg	0,04	0,05	0,31	0,24
Mn	0,17	0,07	0,51	0,30
Fe	0,01	0	0,19	0,06
Zn	1,19	1,43	1,14	0,40
Ni	0,10	0,13	0,38	0,31
Cr	0,11	0,06	0,35	0,14

Prema dobijenim rezultatima stablo vrste *A. markgrafii* bolje akumulira Ca, Mg, Zn i Ni od korena, dok listovi i cvasti imaju bolju akumulaciju gotovo svih ispitivanih metala (osim Zn) u odnosu na koren (Tabela 4). Apsorpcioni koeficijent veći od 1 kod vrste *A. markgrafii* pokazan je za Ca i Zn.

Tabela 4. Translokacioni faktori (TF) i apsorpcioni koeficijent (AK)
Table 4. Translocation factors (TF) and apsorpton coefficient (AC)

<i>A. markgrafii</i>				
	<i>TFstablo</i> <i>TFstem</i>	<i>TFlist</i> <i>TFleaf</i>	<i>TFcvast</i> <i>TFinflorescence</i>	<i>AK</i> <i>AC</i>
Ca	2,16	3,19	4,47	9,40
Mg	1,09	6,96	5,45	0,13
Mn	0,44	3,01	1,76	0,25
Fe	0,36	14,18	4,73	0,09
Zn	1,20	0,95	0,34	1,25
Ni	1,31	3,84	3,08	0,20
Cr	0,50	3,10	1,24	0,18

Primenom bioakumulacionog faktora može se proceniti biljna sposobnost da akumulira metale iz zemljišta, dok se sposobnost biljaka da translocira metale od korena ka nadzemnim organima može utvrditi translokacionim factorom. Factor obogaćivanja daje procenu translokacije metala od korena ka nadzemnim organima. Sva tri biološka faktora, kao i apsorpcioni koeficijent se mogu primeniti u proceni potencijala biljne vrste za njenu primenu u fitoremedijaciji. Rezultati ove studije su pokazali da vrsta *A. markgrafii* ima $BF > 1$ za Ca i

Zn. Takođe, različiti organi proučavane vrste imaju $TF > 1$ za ispitivane metale, tako da se vrsta *A. markgrafii* može smatrati pogodnom za fitoekstrakciju ovih metala.

Obogaćivanje biljaka nekim polutantom se javlja kada zagađivač koji uzima biljka nije brzo degradiran; što rezultira njegovom akumulacijom u biljci. Specifičnu sposobnost biljke da apsorbira jone metala iz zemljišta i transportuje ih u nadzemne organe pokazuje $EF > 1$. Rezultati ove studije su pokazali $EF > 1$ za Ca za sve proučavane organe, kao i EF stabla i lista proučavane vrste za Zn, što ukazuje na translokaciju ovih metala od korena ka nadzemnim organima. Biološki apsorpcioni koeficijent metala se koristi da bi se odredila količina metala usvojena od strane biljaka iz zemljišta, a njegova velika vrednost kod pojedinih vrsta biljka ukazuje na mogućnost njihove primene u fitoekstrakciji. Na osnovu dobijenih rezultata vrsta *A. markgrafii* se može primeniti u fitoekstrakciji Zn iz zagađenih zemljišta.

Zaključak

Koncentracije Ni i Cr u istraživanom zemljištu prelazile su propisane maksimalno dozvoljene koncentracije, granične i remedijacione vrednosti ovih metala u zemljištu prema regulativi Republike Srbije. Utvrđeni su veliki sadržaji Ni, Cr i Fe u biljnim tkivima vrste *A. markgrafii*. Takođe, ustanovljeno je da stablo vrste *A. markgrafii* bolje akumulira Ca, Mg, Zn i Ni od korena, dok listovi i cvasti imaju bolju akumulaciju gotovo svih ispitivanih metala (osim Zn) u odnosu na koren. Pokazana je i dobra translokacija Ca i Zn od podzemnih ka nadzemnim organima vrste *A. markgrafii*, kao i da se ona može smatrati pogodnom za fitoekstrakciju ispitivanih metala.

Literatura

- Alloway B.J. (1990). Heavy metals in soil. Blackie and Son Ltd, London, pp: 1-339.
- Branquinho C., Serrano H.C., Pinto M.J., Martins-Loucao M.A. (2007). Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. Environ. Pollut. 146, 437–443.
- Brunetti G., Soler-Rovira P., Farrag K., Senesi N. (2009). Tolerance and accumulation of heavy metals by wild plant species grown in contaminated soils in Apulia region, Southern Italy. Plant Soil, 318, 285-298.
- EU Directive 86/278/EEC (1986). Directive 86/278/EEC on the protection of the environment and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. Off. J. Eur. Comm. L181/6.
- Ghosh M., Singh S. P. (2005). A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. Environ. Pollut., 133, 365–371.
- Gupta S., Nayek S., Saha R. N., Satpati S. (2008). Assessment of heavy metal accumulation in macrophyte, agricultural soil and crop plants adjacent to discharge zone of sponge iron factory. Environ. Geol., 55, 731–739.
- Hooda S. P. (2010). Trace elements in soil. Kingston University London, A. John Wiley and Sons Ltd Blackwell Publishing, London.
- Javorka S., Csapody V. (1979). Iconographia Florae partis Austro-Orientalis Europae Centralis. Academiai kido, Budapest.
- Josić M. (1970). Flora of Serbia I. SAAS, Beograd, 286-31.

- Kabata-Pendias A. (2011). Trace Elements in Soil and Plants (4th Eds.). Boca Raton, CRC press, Washington, D.C.
- Kastori R. (1993). Teški metali i pesticidi u zemljištu Vojvodine. Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad.
- Markert B. (1992). Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. *Vegetatio*, 103, 1-30.
- Nagajyoti P. C, Lee K. D. (2010). Sreekanth TVM Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: areview. *Environ Chem Lett*, 8, 199–216.
- Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja. Službeni glasnik RS, br. 18/97.
- Tutin T. G. (1964-1980). Flora Europaea. In: Tutin T. G., Heywood V. H., Burges N. A., Valentine D. H., Walters S. M., Webb D. A. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa. Službeni glasnik RS, br. 88/2010, prilog 3.
- Wei Sh., Zhou Q., Wang X. (2005). Identification of weed plants excluding the uptake of heavy metals. *Environ. Inter.*, 31, 829-834.

BIOACCUMULATION AND TRANSLOCATION OF METALS IN SPECIES *ALYSSUM MARKGRAFII* O. E. SCHULZ

Snežana Branković¹, Gorica Đelić², Zoran Simić³, Radmila Glišić⁴, Vera Đekić⁵, Marina Topuzović⁶, Filip Grbović⁷, Milica Novaković⁸

Abstract

The aim of this study was to determine the concentrations of 7 metals (Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Ni, Cr) in the soil and selected plant species *Alyssum markgrafii* O. E. Schulz in one serpentinite sites in the foothills of the mountain Goc. The concentrations of Ni and Cr in the investigated soil were above the maximum allowable concentration of substances in the soil, also above limit and remediation values for a given metals in the soil, according to regulation of Republic of Serbia. The great contents of Ni, Cr and Fe in plant tissues of species *A. markgrafii* were determined. Good translocation of Ca and Zn from under-ground to above-ground organs of species *A. markgrafii* has also been shown, and it can be considered suitable for the phytoextraction of investigated metals.

Key words: metals, soil, bioaccumulation, translocation.

^{1,2,3,4,6}University of Kragujevac, Faculty of Science Kragujevac, Radoja Domanovića 12, Kragujevac, Serbia (pavsnez@kg.ac.rs)

⁵Center for Small Grains, Save Kovačevića 31, Kragujevac, Serbia.